

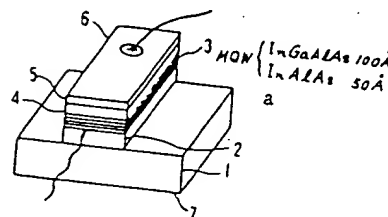
# PHOTODETECTOR

(11) 2-94573 (A) (43) 5.4.1990 (19) JP  
(21) Appl. No. 63-244559 (22) 30.9.1988

(71) NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT> (72) KOICHI WAKITA(2)  
(51) Int. Cl.<sup>3</sup> H01L31/0264

**PURPOSE:** To obtain a photodetector having large variation in absorption end wavelength by a low voltage drive, high efficiency and wavelength selectivity by increasing the thickness of a well layer in a quantum wall structure, and composing the composition of the layer of InGaAlAs, InGaAsP or GaAlAs.

**CONSTITUTION:** A photodetector is formed by growing an  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  clad layer 2 on an InP substrate 1, forming a multiple quantum well structure 3 thereon, forming an InGaAlAs quantum well layer and an  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  barrier layer thereon, forming an InAlAs clad layer 4 thereon, and further laminating an InGaAs cap layer 5 thereon. The mesa shape of a sample has  $36\mu\text{m}$  of lateral width W and  $55\text{-}340\mu\text{m}$  of mutual operation length L with a light. Thus, even if the composition of the material to be employed for a quantum well is selected to increase the well width, its absorption end energy is not changed, but can be secured to a useful wavelength, and since a large absorption end wavelength shift is provided even by a low voltage application, the photodetector having an efficient wavelength selectivity can be realized.



a: 30 period

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## ⑫ 公開特許公報(A)

平2-94573

⑪ Int.Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成2年(1990)4月5日

H 01 L 31/0264

7522-5F H 01 L 31/08

L

審査請求 未請求 請求項の数 9 (全6頁)

⑭ 発明の名称 光検出器

⑮ 特 願 昭63-244559

⑯ 出 願 昭63(1988)9月30日

⑰ 発 明 者 脇 田 紘 一 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑱ 発 明 者 小 高 勇 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 発 明 者 中 尾 正 史 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑳ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉑ 代 理 人 弁理士 中村 純之助

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

光検出器

## 2. 特許請求の範囲

1. 量子井戸構造を有する光検出器において、量子井戸層を構成する元素AとBとからなる化合物半導体結晶AB、および障壁層を構成する元素A、B、Cからなる混晶化合物半導体 $A_{1-x}C_xB$  ( $0 < x \leq 1$ )により構成される量子井戸構造の井戸層ABに、上記井戸層のバルクとしてもつエネルギーギャップを大きくする元素Cを添加することを特徴とする光検出器。

2. 上記量子井戸が $A_{1-x}C_xB$ であり障壁層が $A_{1-y}D_yB$ のとき、上記井戸層を $A_{1-z}C_zD_zB$ としたことを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載した光検出器。

3. 上記量子井戸層がABであり障壁層がACのとき、上記井戸層にCを添加して

$AB_{1-x}C_x$ としたことを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載した光検出器。

4. 上記量子井戸層が $A_{1-x}B_xC$ であり障壁層がBCのとき、上記井戸層に元素Dを添加して、そのエネルギーギャップを大としたことを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載した光検出器。

5. 量子井戸構造を有する光検出器において、第1の導電形を有するInP結晶基板上に、

(a) 第1の導電形を有するInP層または $In_{0.53}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.47}As$ 層 ( $0 < x \leq 1$ )、

(b)  $In_{0.53}(Ga_{1-y}Al_y)_{0.47}As$ 層 ( $0 < y \leq x$ ) および  $In_{0.53}(Ga_{1-z}Al_z)_{0.47}As$ 層 ( $0 < z < y$ ) を交互に積層した量子井戸構造を有する層、(c) 第2の導電形を有するInP層または $In_{0.53}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.47}As$ 層、(d) 第2の導電形を有する $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ 層の各層を、順次成長させた多層構造の両面にそれぞれ電極を形成し、上記量子井戸構造の一方の端面から入射した

光を他の端面から出射する導波路を形成し、光の進行方向に複数の独立した電極を設けたことを特徴とする光検出器。

6. 上記量子井戸構造は、量子井戸層と障壁層との組合わせが、それぞれ  $ZnSe/ZnTe$ 、 $InGaSb/GaSb$ 、 $InGaP/InAlP$ 、 $GaSb/AlGaSb$  のうち、いずれかの材料系であることを特徴とする特許請求の範囲第5項に記載した光検出器。

7. 上記量子井戸構造を有する層は、

$In_{1-u}Ga_uAs_{1-v}P_v$  および

$In_{1-u}Ga_uAs_{1-v}P_v$  ( $0 \leq u$ 、 $0 < v \leq 1$ 、 $0 \leq w$ 、 $u < t$ ) を交互に積層した多層膜であることを特徴とする特許請求の範囲第5項に記載した光検出器。

8. 量子井戸構造を有する光検出器において、第1の導電性を有する  $GaAs$  結晶基板上に、(a') 第1の導電性を有する  $Al_{1-s}Ga_sAs$  層 ( $0 < s < 1$ )、(b')  $AlGaAs$  層 ( $0 < r \leq 1$ ) と  $AlAs$  層とを交互に積層した量

子井戸構造を有する層、(c') 第2の導電性を有する  $GaAs$  層の各層を順次成長させた多層構造の両面にそれぞれ電極を形成し、上記量子井戸構造の一方の端面から入射した光を他の端面から出射する導波路を形成し、光の進行方向に複数の独立した電極を設けたことを特徴とする光検出器。

9. 上記量子井戸構造は、若干の  $Al$  あるいは  $P$  を量子井戸に添加したものであることを特徴とする特許請求の範囲第1項ないし第8項のいずれかに記載した光検出器。

### 3. 発明の詳細な説明

#### (産業上の利用分野)

本発明は、入射する多波長光を独立に検出できる波長選択性をもつ光検出器に関するものである。  
〔従来の技術〕

光通信においては、これまで主として単一波長をもつ光の伝送が実用化されてきたが、近年、より高密度の情報を1本の光ファイバケーブルで伝送できる波長多重光伝送方式が検討されている。

多波長の光を選別するには分光器等が必要になり、また、それぞれの波長に対しては、それぞれの光検出器が必要であって、構成が複雑になるとともに高価なものになっていた。これらの問題を解決する方法の一つに、波長選択機能を検出器自体にもたせることが提案され、実験されている〔米国応用物理学会 (Applied Physics Letters) 47巻、866頁-868頁、1985年〕。

その原理は、量子井戸構造を採用して、その層に垂直方向に電界を印加し、吸収スペクトルが電界により長波長側にシフトする効果（量子閉じ込めシュタルク効果という）を利用している。第8図はその効果を示すもので、 $GaAs$  と  $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$  (100Å/50Å) からなる量子井戸構造に、光を層に平行に入射したときの光吸収電流スペクトルの印加電圧依存性を示す。すなわち、第1図の電極6-1、6-2を同一にして両子に逆方向電圧を加えると、その吸収スペクトルは第8図に示すようになり、吸収ピークは長波長側にシフトする。したがって、印加電圧の値に応

じて吸収される光の波長が変えられるので、例えば、波長850nmと870nmの光が  $A_1$ 、 $A_2$  として独立に検出できている。この効果は通常のバルクに較べ、量子井戸構造を採用したために、吸収スペクトル変化が急峻である。

#### 〔発明が解決しようとする課題〕

しかしながら、上記従来技術では、波長がシフトする範囲が限られ（上記従来例では18V印加で約200Åのシフト）、加えられる電圧もおおのずから限界があり、また、異種波長間でのクロストークもあり、十分とはいえなかった。

本発明は、低電圧駆動で吸収端波長の変化が大きく、高効率な波長選択性を有する光検出器を得ることを目的とする。

#### 〔課題を解決するための手段〕

上記目的は、量子井戸構造中の井戸層を厚くし、かつ、井戸層の組成を  $InGaAlAs$  または  $InGaAsP$ 、あるいは  $GaAlAs$  にすることにより達成される。

〔作用〕

量子井戸層に垂直に電界を印加したとき、その吸収端のエネルギーシフトは、低電界において量子井戸の厚さ $L_z$ の4乗に比例することが知られており、大きなエネルギーシフトを得るには $L_z$ が大きい構造を採用すればよい(G. Bastardら、フィジカル・レビュー・ビー(Physical Review B)28巻 3241頁-3245頁、1983年)。

一方、量子井戸の厚さを厚くしていくと、量子サイズ効果は減少し、量子井戸の吸収端エネルギーが小さくなり、また、励起子(電子-正孔対)に基づく振動子強度は $L_z$ とともに減少する。第9図はInGaAs/InP系のInP基板と格子整合する量子井戸層を $\text{In}_{0.52}\text{Ga}_{0.48}\text{As}$ 、障壁層をInPとする多重量子井戸について、その吸収ピークシフトの電界効果の井戸幅 $L_z$ 依存性を調べたものである。実線は計算値を示しプロットした各点は実験値を示すが、ほぼ上記計算値とは良く一致し、 $L_z$ が大きい程エネルギーシフトが大きくなることが判る。しかし、その吸収端エネル

ギーは $L_z=70\text{\AA}$ に対して $1.46\mu\text{m}$ であるのに対し、 $L_z=100\text{\AA}$ では $1.605\mu\text{m}$ となり、通常よく使用される波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯に対しては、 $L_z=100\text{\AA}$ のものは電界の有無にかかわらず大きな吸収が存在し、不適である。このような結果は、障壁層にInPに格子整合する $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ を用いた場合も同様であり、量子井戸層の層厚によってその吸収端エネルギーが決定されてしまうためである。そこで量子井戸InGaAsに若干のAlあるいはPを追加して、その吸収端エネルギーを大きくしつつその層厚を厚くしてやれば、大きなエネルギーを有しながら吸収端エネルギーを $1.5\mu\text{m}$ 帯に固定できる。第10図はこのような考察に基づいて、

InP基板に格子整合する4元量子井戸層

$\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ の電界 $100\text{kV/cm}$ 下におけるエネルギーシフトを、電界0での吸収端が $1.5\mu\text{m}$ に固定した条件下で、Alの添加量の関数として示したものである。また、4元井戸層のバルクとしてのエネルギーギャップも同時に示した。非常に僅かなAlの添加で、井戸の幅が厚くなるにしたが

いシフト量が大きくなることが判る。一般には、井戸の組成をエネルギーギャップが増加する方向にずらすと、障壁層とのエネルギー差が小さくなり、量子サイズ効果が減少するが、本発明では極く微量のAl添加であるため、顕著なエネルギー差の変化はなく、量子サイズ効果の低下も少ない。実際、 $\text{In}_{0.52}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.48}\text{As}$  ( $x=0.06$ ) 量子井戸を厚さ $100\text{\AA}$ 30周期作製した(障壁層InAlAs $50\text{\AA}$ )ところ、量子効果は第11図に示すように明瞭に観測された。第11図は量子井戸に僅かのAlを添加した本発明に基づく量子井戸構造の、光を量子井戸層に平行に入射したときの光吸収電流スペクトルの電圧依存性を示すもので、室温において明瞭な励起子吸収が観測されており、また、その吸収ピーク位置の電圧による長波長側へのシフトが大きい。6Vの印加電圧で約500Åのシフトがあり、このシフト量は印加電圧0における吸収ピーク位置と同じ吸収ピークをもつ3元

$\text{In}_{0.52}\text{Ga}_{0.48}\text{As}$ 井戸(井戸幅約70Å)の電圧によるシフト量に較べ約3倍もあり、本発明の有

効性が確認された。第12図は本発明をInPに格子整合するInGaAsP量子井戸に適用した場合のエネルギーシフトを示すもので、その条件は第10図と同様である。すなわち、電界強度 $100\text{kV/cm}$ 、電界0での吸収端を $1.5\mu\text{m}$ に固定したとき、InGaAsP中のInGaAsの割合を関数としている、僅かなPの添加によりエネルギーシフトが大きく変わることがわかる。例えば、InGaAsに較べ、5%のP添加でシフト量は2倍以上になることが予想できる。

〔実施例〕

つぎに本発明の実施例を図面とともに説明する。第1図は本発明による光検出器の第1実施例を示す説明図、第2図は上記実施例の光応答波形を示す図、第3図は本発明による第2実施例を示す図、第4図は本発明の第3実施例を示す図、第5図は本発明の第4実施例を示す図、第6図は本発明の第5実施例を示す図である。第1図に示した第1実施例は、InP基板1の上に $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ クラッド層2を成長させ、その上にInGaAlAs

量子井戸層と  $\text{In}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{As}$  障壁層とからなる多重量子井戸構造3を形成し、その上に  $\text{InAlAs}$  クラッド層4をつけ、さらに  $\text{InGaAs}$  キャップ層5を積層したものである。第1図に示す試料のメサ形状は、横幅  $W$  が  $36\mu\text{m}$ 、光との相互作用長  $L$  が  $55\sim 340\mu\text{m}$  のものである。第2図に示す図は上記試料の光応答波形で、入射光波長  $615\text{nm}$ 、半値幅  $300\text{fsec}$  の光を、上記試料の劈開面に垂直（量子井戸層に平行）に照射したとき、試料両端に光検出波形として誘起される電圧を示している。立上り  $30\text{psec}$ 、立下り  $140\text{psec}$  が得られ、高速応答性が立証されている。

第3図に示す第2実施例は、光の進行方向に複数の電極6-1、6-2、6-3を設け、入射波長に応じて上記各電極に加える電圧を変え、検出する波長を選択できるようになっている。すなわち、第1の電極6-1では印加電圧を1Vにして波長  $1.51\mu\text{m}$  の光が受光できるようにし、第2の電極6-2では印加電圧を3Vにして波長  $1.53\mu\text{m}$  の光を受光し、第3の電極6-3では印加電圧を6

Vにして波長  $1.55\mu\text{m}$  の光を検出している。上記各電極の電気的分離は、プロトン打込み ( $120\text{keV}$ 、 $5\times 10^{14}\text{cm}^{-2}$  のドーズ量) により作製し、その深さを  $p\text{-InGaAs}$  キャップ層5に  $p\text{-InAlAs}$  クラッド層4を合わせた深さと同じにして電気的な絶縁を行っている。各電極間の抵抗は  $1\text{G}\Omega$  以上である。図では高速化用に量子容量もプロトン打込みで低減化している。

第4図に示す第3実施例は、各電極6-1、6-2、6-3、6-4、6-5間の分離のために、イオンミリングあるいはドライエッチング分離溝を形成している。この場合はプロトン打込みを用いなくても電気的な分離はよいが、入射光  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  は各セグメントを通過したあと再び空気中に出るので、光の反射があり、検出感度をおとす可能性がある。

第5図に示す第4実施例は、低容量化のためメサ構造にして光を検出するように工夫したものであり、プロトン打込みによる電極分離が容易である。

第6図に示す第5実施例は、横モード単一化と低容量化のために、リッジ形の導波路を作製し、電気的絶縁はイオンミリングあるいはドライエッチングで形成された溝を利用している。第3図および第4図とともに、4元量子井戸採用による大きな電界効果のため、吸収ピーク波長のシフトは大きく、従来例に比べて大きな波長選択性と小さなクロストークが、小さな印加電圧で達成されており、本発明の有用性が確認されている。なお、溝のかわりにプロトン打込みを行って絶縁化しても差支えない。

また、本発明の説明には  $\text{InGaAlAs}/\text{InAlAs}$ 、 $\text{InGaAsP}/\text{InP}$  系長波長材料の量子井戸層/障壁層の組み合わせについて記したが、 $\text{GaAlAs}/\text{AlAs}$ 、 $\text{ZnSe}/\text{ZnTe}$ 、 $\text{InGaSb}/\text{GaSb}$ 、 $\text{InGaP}/\text{InAsP}$ 、 $\text{GaSb}/\text{AlGaSb}$  等の他の材料系についても適用することができる。さらに、 $\text{InP}$  基板結晶と格子整合する場合について説明したが、特に格子整合しなくても上記効果があることはいうまでもなく、したがって、広

い波長範囲にわたって適用することが可能である。  
〔発明の効果〕

上記のように本発明による光検出器は、量子井戸構造を有する光検出器において、第1の導電形を有する  $\text{InP}$  結晶基板上に、(a) 第1の導電形を有する  $\text{InP}$  層または  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_x\text{As}_{1-x}$  層 ( $0 < x \leq 1$ )、(b)  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_y\text{As}_{1-y}$  層 ( $0 < y \leq x$ ) および  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_z\text{As}_{1-z}$  層 ( $0 < z < y$ ) を交互に積層した量子井戸構造を有する層、(c) 第2の導電形を有する  $\text{InP}$  層または  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_x\text{As}_{1-x}$  層、(d) 第2の導電形を有する  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  層の各層を、順次成長させた多層構造の両面にそれぞれ電極を形成し、上記量子井戸構造の一方の端面から入射した光を他の端面から出射する導波路を形成し、光の進行方向に複数の独立した電極を設けたことにより、量子井戸に採用する材料の組成を選んで井戸幅を厚くしても、その吸収端エネルギーは変わらず有用な波長に固定でき、かつ、低い電圧印加に

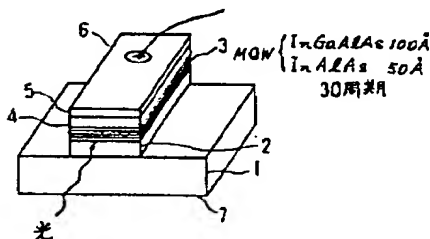
よっても大きな吸収端波長シフトがあるため、効率的な波長選択性をもつ光検出器を実現することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

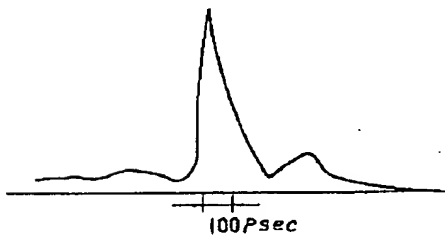
第1図は本発明による光検出器の第1実施例を示す説明図、第2図は上記実施例の光応答波形を示す図、第3図は本発明による第2実施例を示す図、第4図は本発明の第3実施例を示す図、第5図は本発明の第4実施例を示す図、第6図は本発明の第5実施例を示す図、第7図は従来の波長選択光検出器の斜視図、第8図は上記従来例における光吸収スペクトルの印加電圧依存性を示す図、第9図は従来の量子井戸構造における吸収ピークシフトの井戸幅依存性を示す図、第10図は  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}/\text{InP}$  系量子井戸構造のエネルギーシフトと  $\text{Al}$  添加の関係図、第11図は  $\text{InGaAs}/\text{InAlAs}$  量子井戸構造の吸収電流スペクトルの電圧依存性を示す図、第12図は  $\text{InGaAsP}/\text{InP}$  系量子井戸構造のエネルギーシフトと  $\text{P}$  添加の関係を示す図である。

- 1…基板
- 2…第1導電形クラッド層
- 3…多重量子井戸構造
- 4…第2導電形クラッド層
- 5…キャップ層
- 6、6-1、6-2、6-3、6-4、6-5…p側電極
- 7…n側電極

特許出願人 日本電信電話株式会社  
代理人 弁理士 中村 純之助

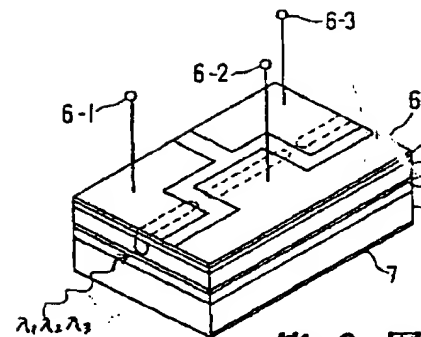


第1図

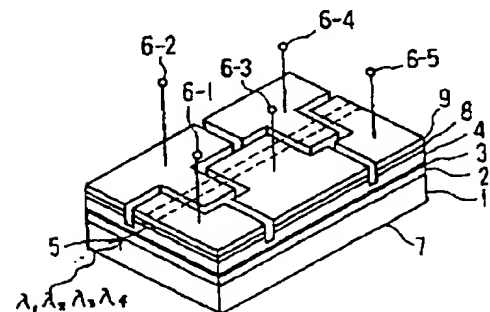


- 1:基板
- 2:第1導電形クラッド層
- 3:多重量子井戸構造
- 4:第2導電形クラッド層
- 5:キャップ層
- 6、6-1、6-2、6-3、6-4、6-5:p側電極
- 7:n側電極

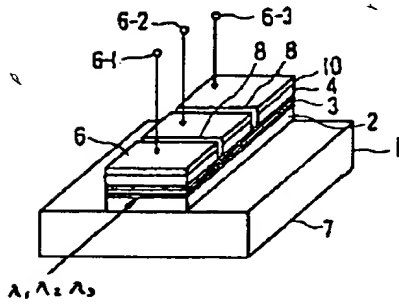
第2図



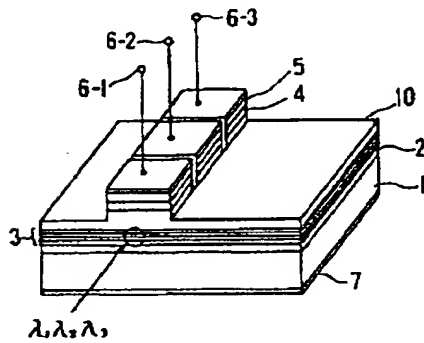
第3図



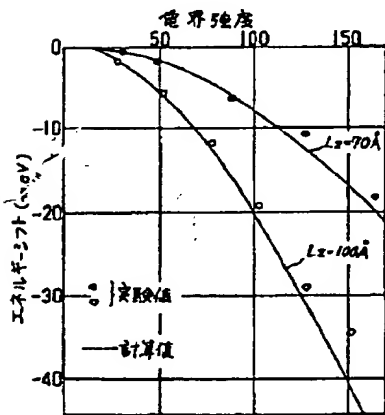
第4図



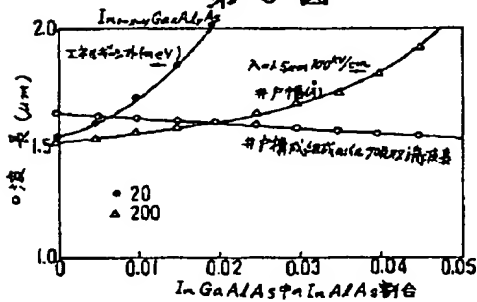
第 5 図



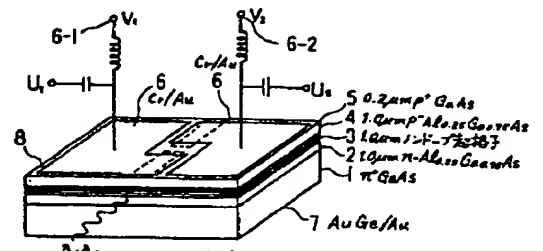
第 6 図



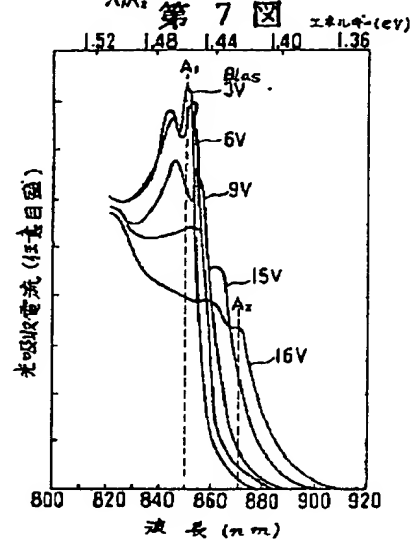
第 9 図



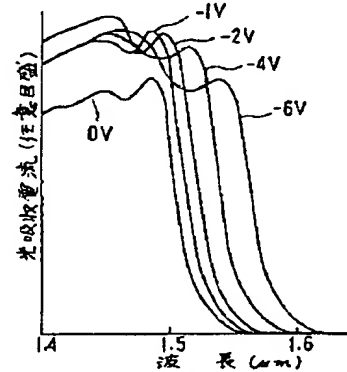
第 10 図



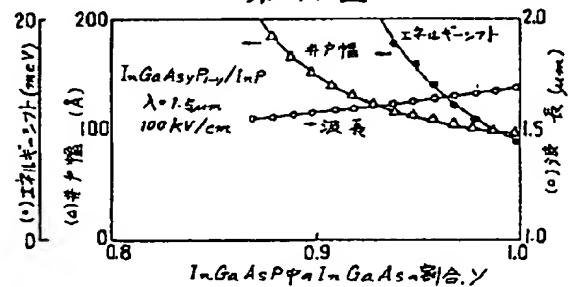
第 7 図



第 8 図



第 11 図



第 12 図